

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 731**

51 Int. Cl.:

H04R 1/10 (2006.01)

H04R 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2013** **PCT/EP2013/057823**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013** **WO13160137**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2013** **E 13720830 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018** **EP 2842346**

54 Título: **Simulador de oído similar al humano**

30 Prioridad:

27.04.2012 US 201261639241 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

24.07.2018

73 Titular/es:

**BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION
MEASUREMENT A/S (100.0%)
Skodsborgvej 307
2850 Naerum, DK**

72 Inventor/es:

**JOHANSEN, BRIAN y
JØNSSON, SØREN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 676 731 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Simulador de oído similar al humano

La presente invención se refiere a un simulador de oído que representa una impedancia acústica del tímpano promedio correspondiente a oídos de una población de seres humanos. Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de simulador de oído que comprende un simulador de oído que representa una impedancia acústica del tímpano promedio y un simulador de canal auditivo desmontable para proporcionar un sistema de simulador de oído que representa una impedancia acústica de un canal auditivo humano individual o de canales auditivos humanos promedio de la población.

Antecedentes de la invención

En la actualidad existen diferentes tipos de simuladores auditivos en el mercado. Estos simuladores de oído se utilizan típicamente en diferentes situaciones en las que se requiere simular una impedancia de entrada/transferencia de oídos humanos. Se utiliza un simple dispositivo denominado acoplador de 2 cc para medir y verificar los parámetros de funcionamiento acústico de equipos electroacústicos o de comunicación portables tales como audífonos, auriculares, teléfonos móviles, etc., durante la fabricación. El acoplador de 2 cc comprende un volumen de 2 cm³ con una forma geométrica sencilla que proporciona una representación aproximada de la impedancia de entrada de un canal auditivo humano promedio.

Diversos fabricantes ofrecen simuladores de oído de un tipo más avanzado en la forma de los así llamados acopladores 711 que cumplen con los estándares IEC 60318-4 y ANSI S3.25. Un tipo de acoplador 711 está fabricado y comercializado por Brüel & Kjaer Sound and Vibration Measurement A/S bajo la denominación "Simulador de Oído – Tipo 4157".

La patente europea EP 0 118 734 A2 describe un simulador de oído que incluye cuatro cavidades o volúmenes laterales separados acoplados acústicamente con un volumen de canal auditivo externo, que simula el canal auditivo de un ser humano, a través de canales de sonido respectivos. Un micrófono de medida está situado en un plano de terminación de sonido del simulador de oído.

Los acopladores de tipo 711 están contruidos para reproducir fielmente los parámetros acústicos de un canal auditivo humano promedio mediante la presentación de una impedancia de entrada o de una impedancia de transferencia apropiadas en un plano de medida de referencia en el que se sitúa un reproductor de sonido que va a ser ensayado. El reproductor de sonido puede comprender un transductor acústico tal como un altavoz electrodinámico, piezoeléctrico, de armadura móvil de la pieza de equipamiento electroacústico portable que va a ser ensayado. El hecho de que los acopladores 711 estén contruidos para reproducir fielmente parámetros acústicos de canales auditivos humanos promedio implica que la impedancia de entrada o la impedancia de transferencia de un acoplador 711 está diseñada para ser representativa de, o para modelar, una combinación de la impedancia de entrada/transferencia de tímpanos humanos promedio y la impedancia de entrada/transferencia de un canal auditivo humano promedio. Estos dos factores son por lo tanto inseparables en cualquier medida acústica basada en un simulador de oído de tipo 711.

El simulador de oído 4157 comprende un alojamiento principal formado por un cierto número de discos cuyas formas dan lugar a volúmenes de aire de tipo anular acoplados al volumen principal del alojamiento mediante conductos o canales de aire. Un micrófono de medida de 12,7 mm (1/2 pulgadas) está montado en un plano de medida del volumen principal para modelar la posición de un tímpano en oídos humanos reales. El plano de referencia del simulador de oído 4157 está ubicado en una entrada del volumen principal y, tal como se mencionó anteriormente, la posición en la cual la salida de sonido del reproductor de sonido se sitúa para garantizar la precisión de la impedancia de entrada/transferencia del simulador de oído 4157. Más aún, el perfil de sección transversal del volumen principal del simulador de oído de tipo 711 está orientado en dirección sustancialmente paralela al plano de medida (donde está situado el diafragma del micrófono de medida). Esta orientación del plano de medida no reproduce de manera precisa la orientación de un tímpano humano que está inclinado en relación al canal auditivo humano en la intersección entre el tímpano y el canal auditivo.

Sin embargo, sólo se considera que la impedancia de entrada o la impedancia de transferencia del simulador de oído 4157, y de otros simuladores de oído de tipo 711, es precisa a frecuencias que llegan hasta aproximadamente 7 kHz. Por encima de esta frecuencia, no ha resultado posible verificar la precisión con la que la impedancia de entrada o de transferencia representa a la impedancia de entrada o de transferencia promedio de canales auditivos humanos reales. La impedancia de entrada o la impedancia de transferencia de simuladores de oído de tipo 711 aumenta de manera abrupta alrededor de 13,5 kHz debido a una resonancia de media onda en una dimensión longitudinal del volumen principal. Este hecho se reconoce de manera expresa en los estándares IEC 60318-4 y ANSI 83.25 que sólo hablan de representación precisa de impedancia hasta aproximadamente 8 kHz para simuladores de oído conformes con la norma.

Más aún, en el intervalo de frecuencias por debajo de 8 kHz no ha resultado posible hasta ahora verificar la precisión con la que la impedancia acústica en el plano de medida (o en la posición del diafragma del micrófono) del simulador

de oído de tipo 711 representa la impedancia promedio de oídos humanos en el tímpano, es decir, la impedancia del tímpano. Esta falta de verificación se debe a la suposición que se hace cuando se transforma una impedancia de entrada del oído humano medida en la impedancia de tímpano correspondiente. Se introducen errores muy considerables en esta transformación debido a la falta de conocimientos sobre la geometría del volumen del canal auditivo encerrado entre la sonda de medida y el tímpano humano.

La falta de precisión y el rendimiento desconocido de los simuladores de oído de tipo 711 no resulta deseable en vista de la tendencia continua de reproducir sonido con una fidelidad cada vez mayor y a extender el espectro de frecuencias hasta, por ejemplo, frecuencias por encima de 10 kHz, o incluso por encima de 12 kHz, en los equipos de comunicación portables de hoy en día. Por consiguiente, sería altamente deseable disponer de un simulador de oído que represente de manera precisa la impedancia de entrada o la impedancia de transferencia promedio de los canales auditivos humanos reales con el fin de permitir una evaluación correcta de este tipo de equipamientos de comunicaciones portables de banda ancha o de alta frecuencia.

Más aún, también resultaría altamente ventajoso disponer de un sistema de simulador de oído que fuese capaz de tener en consideración diferencias en la geometría del canal auditivo entre diferentes poblaciones humanas tales como bebés, niños, varones asiáticos, etc. Un simulador de oído tal ha sido proporcionado por los presentes inventores para, en primer lugar, medir y calcular la impedancia de entrada del canal auditivo de una población humana representativa a lo largo de un intervalo de frecuencias extendido tanto por debajo como por encima de 16 kHz. En segundo lugar, los presentes inventores han transformado de manera exitosa estas medidas de impedancia de canal auditivo de banda ancha en impedancias de tímpano correspondientes. En tercer lugar, han diseñado un simulador de oído ("simulador de tímpano") que representa la impedancia de tímpano promedio de la población humana. El presente simulador de tímpano resulta de gran utilidad en numerosas aplicaciones que requieren un modelado acústico preciso de los canales auditivos humanos. Por ejemplo, el simulador de tímpano puede acoplarse a un simulador de canal auditivo desmontable o seleccionable por el usuario, representando una impedancia de entrada/transferencia conocida de canales auditivos humanos promedio de una población objetivo, o representando una impedancia de entrada/transferencia conocida de un individuo particular, para proporcionar un sistema de simulador de oído flexible. Esta característica propia posibilita la construcción o el montaje de un sistema de simulador de oído personalizado que represente de manera precisa la impedancia de entrada del canal auditivo promedio de la población objetivo o que represente de manera precisa la impedancia de entrada del canal auditivo de un individuo específico.

El sistema de simulador de oído personalizado permite una predicción precisa de la amplificación sonora y de la presión sonora en el tímpano en el individuo específico entregada por un elemento de un equipo de comunicación portable. Esta propiedad presenta una ventaja considerable en una pluralidad de aplicaciones tales como procedimientos de ajuste de audífonos cuando los simuladores de oído conocidos solamente son capaces de estimar amplificaciones sonoras promedio y presiones sonoras de tímpano promedio. Estos promedios pueden alejarse considerablemente de los valores reales en un individuo o paciente específico debido a variaciones intra-sujeto en las geometrías de canal auditivo e impedancia de entrada. En procedimientos de ajuste de audífonos, esta falta de precisión resulta altamente indeseable puesto que el usuario o paciente con problemas auditivos puede recibir una amplificación sonora demasiado pequeña o demasiado grande para compensar adecuadamente su pérdida de audición o bien puede estar expuesto a niveles de presión sonora máximos incómodamente intensos.

Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un simulador de oído que representa una impedancia acústica de tímpano promedio de oídos de una población de seres humanos. El simulador de oído comprende un plano de entrada de sonido y un plano de terminación de sonido. Una pluralidad de volúmenes de aire están acoplados acústicamente al plano de terminación de sonido a través de canales de sonido respectivos. Al menos un volumen de aire de la pluralidad de volúmenes de aire está situado detrás del plano de terminación de sonido.

La habilidad del presente simulador de oído o simulador de tímpano para modelar exclusivamente y sustancialmente la impedancia acústica de un tímpano promedio de la población de seres humanos en lugar de modelar la combinación de la impedancia de tímpano y la impedancia del canal auditivo tal como hacen los simuladores de oído de la técnica anterior es de gran utilidad en numerosas aplicaciones de medida y ajuste de equipamiento electroacústico portable. El presente simulador de tímpano es, por ejemplo, de gran utilidad como parte de un sistema de simulador de oído que comprende adicionalmente un simulador de canal auditivo desmontable o seleccionable por el usuario, que representa una impedancia de entrada/transferencia de canales auditivos humanos de una población objetivo, o que representa una impedancia de entrada/transferencia conocida de un individuo particular. Esta característica propia permite la construcción de sistemas de simulador de oído personalizados que representan de manera precisa la impedancia de entrada de canal auditivo promedio de una población objetivo o la impedancia de entrada de canal auditivo de un individuo específico bajo estudio para una predicción precisa de la amplificación sonora y de la presión sonora en el tímpano de una persona específica entregada por un elemento de un equipo de comunicación electroacústica portable tal como un audífono, unos cascos, unos auriculares de oído de reproductores musicales, un teléfono móvil, etc.

La entrada de sonido del canal de sonido del al menos un volumen de aire está situada preferiblemente en o sobre el plano de terminación de sonido. De manera preferible, las entradas de sonido respectivas de canales de sonido de un volumen de aire adicional o más de uno están de la misma manera situadas en o sobre el plano de terminación de sonido. En una realización, cada entrada de sonido del canal de sonido de cada volumen de aire de la pluralidad de volúmenes de aire está situada en o sobre el plano de terminación de sonido. La ubicación de la o las entradas de sonido en o sobre el plano de terminación de sonido proporciona un acoplamiento acústico directo entre el o los volúmenes de aire y el plano de terminación de sonido, lo que genera diversas ventajas importantes tales como:

1) las entradas de sonido de los canales de sonido no interfieren con una geometría de un simulador de canal auditivo fijado de tal manera que las propiedades acústicas respectivas de simulador de canal auditivo y del simulador de tímpano están desacopladas. Esto resulta útil puesto que las propiedades acústicas de los canales auditivos humanos varían en una medida considerablemente mayor que la impedancia acústica de tímpanos humanos;

2) la ubicación del canal de sonido imita fielmente la carga acústica natural en el tímpano humano proporcionada de manera natural por el oído medio en los tímpanos humanos de tal manera que resulta posible una representación apropiada de la impedancia del tímpano humano también a frecuencias por encima de 10 kHz;

3) el o los volúmenes de aire y sus canales de sonido y entradas de sonido asociados/as están estrechamente espaciados en el simulador de oído, mejorando la precisión de la impedancia de entrada del simulador de oído altas frecuencias.

En una realización preferida, el plano de entrada de sonido y el plano de terminación de sonido son sustancialmente coincidentes. Esta realización proporciona una geometría de simulador de oído compacta y un volumen de cavidad sustancialmente cero enfrente del plano de terminación de sonido. Otra realización del presente simulador de oído comprende una cavidad frontal de un volumen predeterminado dispuesta entre medias del plano de entrada de sonido y del plano de terminación de sonido. En esta última realización, todavía puede proporcionarse un volumen de cavidad muy pequeño mediante el acoplamiento de al menos un volumen de aire al plano de terminación de sonido. El volumen predeterminado de la cavidad frontal es preferiblemente inferior a 250 mm^3 , tal como por ejemplo entre 2 mm^3 y 200 mm^3 , de una manera más preferible entre 5 mm^3 y 50 mm^3 , haciendo que la cavidad frontal tenga un tamaño sustancialmente inferior a la cámara principal del simulador de oído de tipo 711. En una realización tal, una altura de la cavidad frontal puede corresponder a una altura de uno de los canales de sonido o más de uno que conducen al o a los volúmenes de aire y su valor se encuentra en el intervalo comprendido entre 30 mm y 300 mm , como por ejemplo entre 50 mm y 200 mm . En estas realizaciones preferidas de la cavidad frontal, el volumen frontal es tan pequeño que los planos de terminación de sonido y de entrada de sonido son prácticamente coincidentes, lo que significa que una impedancia de entrada del simulador de oído, medida en el plano de entrada de sonido, es sustancialmente igual a la impedancia acústica del tímpano promedio deseada al menos a frecuencias hasta 20 kHz. La cavidad frontal posee preferiblemente un área de sección transversal comprendida en el intervalo entre 50 mm^2 y 200 mm^2 , tal como por ejemplo 80 mm^2 . La cavidad frontal puede tener un contorno circular, conformado a la forma del diafragma de un micrófono de medida de $12,7 \text{ mm}$ ($1/2$ pulgada) o $6,35 \text{ mm}$ ($1/4$ de pulgada), o bien un contorno ovalado o bien cualquier otro contorno apropiado.

Si el simulador de tímpano comprende la cavidad frontal discutida anteriormente, la o las entradas de sonido respectivas de un canal de sonido o más de uno de la pluralidad de volúmenes de aire pueden disponerse entre el plano de entrada de sonido y el plano de terminación de sonido; es decir, acoplados acústicamente de manera directa a la cavidad frontal.

En otra realización preferida, el simulador de oído comprende un primer volumen de aire situado detrás del plano de terminación de sonido, de manera que el mencionado primer volumen de aire posee un primer canal de sonido con una primera entrada de sonido dispuesta en o sobre el plano de terminación de sonido. Más aún, un segundo volumen de aire, con un segundo canal de sonido, posee una segunda entrada de sonido dispuesta en o sobre el plano de terminación de sonido. El segundo volumen de aire está situado preferiblemente detrás del plano de terminación de sonido. Un volumen del primer volumen de aire puede estar comprendido en el intervalo entre $0,4 \text{ cm}^3$ y 2 cm^3 , tal como por ejemplo $0,8 \text{ cm}^3$ aproximadamente.

Esta última realización del simulador de tímpano comprende preferiblemente un tercer volumen de aire con un tercer canal de sonido que posee una tercera entrada de sonido situado o bien en o sobre el plano de terminación de sonido o bien en la cavidad frontal. Esta realización puede comprender adicionalmente un cuarto volumen de aire con un cuarto canal de sonido que posee una cuarta entrada de sonido dispuesto en o sobre el plano de terminación de sonido o bien dispuesto en la cavidad frontal. De acuerdo con una de estas realizaciones específicas, los volúmenes de aire primero y segundo están ambos situados detrás del plano de terminación de sonido, mientras que al menos un volumen de entre los volúmenes de aire tercero y cuarto está situado enfrente del plano de terminación de sonido.

En una realización alternativa, al menos un volumen de entre los volúmenes de aire tercero y cuarto está situado detrás del plano de terminación de sonido.

El volumen de cada uno de los volúmenes de aire segundo y tercero está preferiblemente comprendido en el intervalo entre 50 mm^3 y 1.000 mm^3 , tal como por ejemplo 300 mm^3 aproximadamente. Este intervalo de dimensiones de volumen de aire está fijado por ciertas consideraciones prácticas de construcción para dar lugar a un simulador de oído con dimensiones compactas y para permitir una construcción mecánica precisa y reproducible del simulador de oído utilizando técnicas de fabricación conocidas tales como mecanizado o moldeo.

El simulador de oído está configurado para proporcionar una magnitud de impedancia de entrada, en el plano de entrada de sonido, de los siguientes valores:

$1,08 \cdot 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 3 \text{ dB}$ a 200 Hz;

$3,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 3 \text{ dB}$ a 1 kHz;

$4,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m} \pm 4 \text{ dB}$ a 3 kHz;

$9,12 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 5 \text{ dB}$ a 6 kHz

$7,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 5 \text{ dB}$ a 8 kHz

$6,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 +10 \text{ dB} / -5 \text{ dB}$ a 10 kHz.

Puesto que estos valores de magnitud de impedancia de entrada nominal corresponden de manera muy cercana a la impedancia acústica de tímpano promedio medida en los oídos de la población de seres humanos, la presente realización del simulador de tímpano es representativa de esta impedancia de tímpano promedio.

Los intervalos de tolerancia asociados a estos valores de impedancia de entrada son preferiblemente incluso más estrechos, de tal manera que una realización más preferida del presente simulador de tímpano está configurada para proporcionar una magnitud de impedancia de entrada, en el plano de entrada de sonido, de los siguientes valores:

$1,08 \cdot 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 2 \text{ dB}$ a 200 Hz;

$3,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 2 \text{ dB}$ a 1 kHz;

$4,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m} \pm 3 \text{ dB}$ a 3 kHz;

$9,12 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 4 \text{ dB}$ a 6 kHz

$7,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 4 \text{ dB}$ a 8 kHz

$6,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 +6 \text{ dB} / -4 \text{ dB}$ a 10 kHz.

Los simuladores de oído existentes, tales como el tipo IEC 711 de simuladores de oído de utilización generalizada anteriormente discutido, son incapaces de conseguir valores de impedancia acústica de tímpano equivalentes dentro de los intervalos anteriormente mencionados a todas las frecuencias de medida listadas, tal como se describe con detalle adicional más adelante haciendo referencia a las FIGS. 4, 5 y 6. Algunos simuladores de oído existentes pueden poseer una impedancia acústica de tímpano equivalente dentro del intervalo de impedancias de entrada listado del presente simulador de oído a una o a dos de las frecuencias de medida listadas, por ejemplo, alrededor de 800 Hz y 1 kHz, pero no consiguen proporcionar los valores de impedancia de entrada listados a las frecuencias de medida residuales tales como a 200 Hz y a 4 kHz tal como se describe a continuación con detalle adicional.

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de simulador de oído que representa una impedancia acústica de un canal auditivo humano o un promedio de múltiples canales acústicos humanos, que comprende un simulador de oído de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas del mismo y un simulador de canal auditivo desmontable. El simulador de canal auditivo desmontable puede conectarse acústicamente y mecánicamente al simulador de oído a través de una superficie de terminación de canal en un plano de intersección entre el simulador de oído y el simulador de canal auditivo. El simulador de canal auditivo desmontable comprende un canal de sonido alargado que se extiende entre un plano de entrada de canal de sonido y el plano de salida de canal de sonido. El canal de sonido puede ser sustancialmente rectilíneo o bien curvado/doblado conformado a la geometría típica de canales auditivos humanos. El simulador de canal auditivo desmontable es una estructura que de manera preferible está conformada y dimensionada para modelar un canal auditivo humano individual o un canal auditivo humano promedio de una cierta población de seres humanos. Consecuentemente, en una realización del presente sistema de simulador de oído la impedancia acústica de entrada del simulador de canal auditivo desmontable representa una impedancia acústica de entrada promedio de canales auditivos de una población representativa de seres humanos, mientras que en otra realización la impedancia acústica de entrada del simulador de canal auditivo desmontable representa la impedancia acústica de entrada de un canal auditivo de un oído humano individual.

De acuerdo con una realización ventajosa del sistema de simulador de oído, el simulador de canal auditivo

- desmontable está acoplado al simulador de oído de una manera que da como resultado una orientación angulada del plano de terminación de sonido del simulador de oído. Esta propiedad refleja de manera precisa la orientación angulada de un tímpano humano típico en relación al canal auditivo que acompaña en la intersección entre el tímpano y el canal auditivo. Esta precisión en la orientación resulta de gran utilidad para atenuar reflexiones acústicas entre superficies en el interior del canal auditivo encerrado. De acuerdo con esta realización del sistema de simulador de oído, la superficie de terminación del canal del simulador de canal auditivo desmontable en el plano de intersección está inclinada un ángulo comprendido en el intervalo entre 10 grados y 80 grados, tal como entre 30 grados y 60 grados, en relación a un plano de sección transversal a través del canal de sonido alargado en la superficie de terminación del canal.
- 10 Otra realización del presente sistema de simulador de oído comprende un simulador de pabellón auricular o de oreja desmontable que puede conectarse a una superficie de entrada en el plano de entrada de canal del simulador de canal auditivo desmontable. El simulador de pabellón auricular u oreja desmontable está configurado o diseñado para modelar las características de impedancia acústica de un pabellón auricular humano promedio o las características de impedancia acústica de un pabellón auricular de un ser humano particular. Esta realización del
- 15 presente sistema de simulador de oído resulta de gran utilidad para proporcionar una cadena completa de simuladores que modelan las propiedades acústicas del sistema auditivo externo de los seres humanos. La persona experta en la técnica apreciará que esta realización del presente sistema de simulador de oído puede montarse en un simulador de cabeza y torso apropiado tal como el simulador de cabeza y torso tipo 4128 fabricado por Brüel & Kjaer Sound and Vibration Measurement A/S.
- 20 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un simulador de canal auditivo desmontable que comprende un canal de sonido alargado que se extiende entre un plano de entrada de sonido y un plano de salida de sonido y que posee un eje longitudinal central que se extiende a su través.
- Las pequeñas dimensiones permitidas por la construcción o el diseño del presente simulador de tímpano permiten un modelado preciso de la impedancia acústica de entrada promedio de canales auditivos humanos reales hasta
- 25 una frecuencia mucho más alta en relación a los simuladores de oído conocidos. Los presentes inventores, de acuerdo con otro aspecto de la presente invención, han desarrollado metodologías y equipamiento para medir y calcular de manera precisa impedancias acústicas de canal auditivo e impedancias de tímpano de sujetos humanos bajo estudio tal como se explica más adelante con detalle adicional. Las impedancias acústicas de tímpano calculadas han permitido a los presentes inventores determinar los valores promedio de las impedancias acústicas
- 30 de tímpano para una población particular y desarrollar el tipo novedoso de simulador de oído con un diseño mecánico y acústico apropiado. La capacidad de modelado del presente simulador de tímpano, en combinación con su diseño realista basado en las propiedades promedio de canales acústicos humanos, permiten una evaluación correcta de las características acústicas de banda ancha o de alta frecuencia de equipamiento de comunicación portable a través del intervalo completo de frecuencias de audio desde 20 Hz hasta 20 kHz.
- 35 **Breve descripción de los dibujos**
- Se describirá con mayor detalle una realización preferida de la invención en relación con los dibujos adjuntos, en los cuales:
- la FIG. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de medición para determinar impedancias de tímpano individuales de sujetos humanos bajo estudio,
- 40 la FIG. 2 es un dibujo esquemático de un simulador de oído que modela la impedancia acústica de tímpano promedio de una población de oídos de seres humanos de acuerdo con una primera realización de la invención,
- la FIG. 3 es un dibujo esquemático de un sistema de simulador de oído que comprende el simulador de oído mostrado en la FIG. 2, un canal de sonido alargado y un simulador de pabellón auricular desmontable,
- 45 las FIGS. 4A) y B) muestran gráficas de impedancia de entrada medida de un acoplador IEC 711 y una impedancia de tímpano calculada correspondiente,
- la FIG. 5A) muestra una gráfica de una impedancia de entrada típica de un canal auditivo humano de un individuo adulto medida experimentalmente,
- la FIG. 5B) muestra una gráfica de una impedancia de tímpano promedio de una población de adultos humanos bajo estudio formada por 25 individuos,
- 50 la FIG. 6A) muestra una gráfica que compara la impedancia de tímpano promedio de canales auditivos humanos medida experimentalmente comparada con la impedancia de tímpano calculada del acoplador IEC 711; y
- la FIG. 6b) muestra una gráfica que compara los límites superior e inferior de la impedancia de tímpano promedio de canales auditivos humanos medida experimentalmente comparados con la impedancia de tímpano calculada del acoplador IEC 711.

Descripción de realizaciones preferidas

La presente determinación de impedancias de tímpano individuales de sujetos humanos bajo estudio puede estar basada en numerosas metodologías de escaneo de canal auditivo diferentes. Las metodologías comprenden escaneo sin contacto tal como la extracción de geometrías individuales de canales auditivos humanos mediante escaneo por infrarrojos y/o escaneo por ultrasonidos. Otras metodologías de escaneo sin contacto de canal auditivo apropiadas comprenden escaneo por tomografía computarizada (CT) del canal auditivo del sujeto bajo estudio o bien escaneo por resonancia magnética (MR) del canal auditivo del sujeto bajo estudio con un agente de contraste apropiado inyectado en el canal auditivo durante el escaneo por resonancia magnética. Sin embargo, debe tenerse el cuidado de conseguir resultados precisos a la vista del estado actual de la tecnología. Otro grupo de metodologías de escaneo de canal auditivo comprenden la aplicación de técnicas de impresión de canal auditivo conocidas. Este grupo puede incluir la inyección de cera o un material o agente líquido de impresión similar, tal como Silicone Singles® (Silicast en forma simple) o Silicast®, en el interior del canal auditivo del sujeto bajo estudio, lugar en el que se endurece y del que se retira posteriormente. La impresión de canal auditivo individual endurecida puede a continuación ser escaneada, por ejemplo mediante un escáner de infrarrojos, para extraer las dimensiones de canal auditivo relevantes y las características geométricas propias.

La FIG. 1 ilustra de manera esquemática un sistema 1 de medición para determinar impedancias de tímpano individuales de sujetos humanos bajo estudio. Un molde 10 de oído individual personalizado se ubica en el canal 12 auditivo del sujeto bajo estudio mientras que dos sondas se conectan a una fuente 13 de sonido (transmisor) y a un micrófono 15 (receptor) respectivamente. El transmisor 6 genera una velocidad q_{in} de volumen de referencia, y el receptor 15 mide la presión p_{in} de sonido resultante o acompañante en el volumen 14 de canal auditivo ocluido enfrente del molde 10 de oído personalizado utilizando su conexión de sonda. El molde 10 de oído personalizado se ubica en un lugar apropiado en el canal 12 auditivo del sujeto bajo estudio. La punta del molde de oído o tapón 10 obturador está ubicada preferiblemente entre 10 y 20 mm, tal como a 15 mm, en el interior del canal 12 auditivo del sujeto bajo estudio durante el procedimiento de medida.

Mediante la aplicación de métodos de computación numérica o algoritmos tales como el Método de los Elementos Finitos (FEM, *Finite Element Method*), resulta posible, utilizando dos conjuntos de cavidades de carga de referencia, calibrar el sistema formado por la fuente 13 de sonido y el receptor 15 de sonido para funcionar en un ancho de banda extendido por encima del 20 kHz. Mediante un conocimiento *a priori* de la función de transferencia H_{probe} entre la fuente 13 de sonido y el receptor 15 de sonido, puede calcularse ahora la impedancia acústica de entrada a lo largo de la frecuencia en el plano 5 de referencia en frente de la fuente 13 de sonido en el interior del canal auditivo del sujeto en el que está ubicada la punta del molde de oído utilizando la siguiente fórmula:

$$Z_{in} = H * \frac{p_{in}}{q_{in}}$$

A partir de la impedancia acústica de entrada calculada en el plano 5 de referencia en frente de la fuente 13 de sonido, resulta posible, mediante la aplicación de métodos de computación numérica o algoritmos tales como el Método de los Elementos Finitos, calcular una impedancia equivalente en una superficie predefinida en el volumen 14 de canal auditivo ocluido basándose en la geometría individual conocida del volumen 14 del canal auditivo ocluido del sujeto bajo estudio entre el plano 5 de referencia y el tímpano 16. En particular, la impedancia $Z_{tímpano}$ acústica en el tímpano 16; es decir, la impedancia acústica del tímpano. Mediante el cálculo de las impedancias de tímpano individual en función de la frecuencia para un grupo apropiado de sujetos humanos bajo ensayo de una población particular, puede determinarse una impedancia acústica de tímpano promedio que corresponde a oídos de la población en cuestión.

La FIG. 2 es una vista central esquemática en sección transversal de un simulador 20 de oído o simulador de tímpano a modo de ejemplo que modela la impedancia acústica de tímpano promedio de una población de seres humanos bajo estudio de acuerdo con una primera realización de la invención. El simulador 20 de oído comprende un alojamiento 21 y un espacio para montar el micrófono 30 de medida con un diafragma (no mostrado) ubicado en un plano 23 de terminación de sonido del simulador 20 de oído. El micrófono 30 de medida puede comprender un micrófono de medida calibrado de 12,7 mm (1/2 pulgadas) o de 6,35 mm (1/4 de pulgada). Una cavidad frontal de pequeño tamaño se extiende entre el plano 23 de terminación de sonido y el plano 25 de entrada de sonido. Esta cavidad frontal puede tener una forma sustancialmente cilíndrica y un volumen de aire comprendido en el intervalo entre 2 mm³ y 200 mm³, preferiblemente un volumen de aire menor de 10 mm³ o menor de 5 mm³. En una realización, una altura de la cavidad frontal corresponde sustancialmente a una altura de los canales 22a, 24a de sonido que conducen a las cavidades 22 y 24 de volúmenes de aire primero y segundo, respectivamente. Esta altura está comprendida preferiblemente en el intervalo entre 30 μ m y 300 μ m, como por ejemplo entre 0 μ m y 200 μ m, lo que da lugar a un volumen de la cámara frontal extremadamente pequeño de tal manera que los planos de terminación de sonido y de entrada de sonido son prácticamente coincidentes. El diafragma del micrófono 30 de medida se ubica en el plano 23 de terminación de sonido, y la orientación del diafragma puede imitar la ubicación típica de un tímpano humano que está inclinado en relación al canal auditivo humano en la intersección entre el tímpano y el canal auditivo tal como se ilustra con mayor detalle en la FIG. 3. Esta orientación inclinada permite al

presente simulador 20 de oído modelar la impedancia acústica del tímpano de oídos humanos con una precisión aumentada a altas frecuencias cuando el plano 25 de entrada de sonido del simulador 20 de oído está acoplado con un simulador o estructura de canal auditivo que modela un canal auditivo humano individual o un canal auditivo humano promedio tal como se representa en la FIG. 3 más abajo. El plano 25 de entrada de sonido tiene preferiblemente un contorno circular u oval con un área extremadamente similar al área de un tímpano humano promedio que tiene típicamente un valor de aproximadamente 50 mm².

Adicionalmente a la cavidad frontal anteriormente mencionada, el simulador 20 de oído comprende cuatro volúmenes o cavidades 22, 24, 26 y 28 de aire acopladas acústicamente de manera directa al plano 23 de terminación de sonido a través de canales de sonido respectivos. Las cuatro cavidades o volúmenes 22, 24, 26 y 28 de aire están situadas en el interior del alojamiento 21 del simulador de oído a ambos lados del micrófono 30 de medida. La persona experta en la técnica apreciará que otras realizaciones del presente simulador de oído pueden comprender solamente 3 volúmenes de aire o bien más de cuatro volúmenes de aire. Un primer volumen o cavidad 22 de aire está acoplado acústicamente al plano 23 de terminación de sonido a través de una primera entrada de sonido y del primer canal 22a de sonido formado por debajo de una primera porción de una superficie 27a de alojamiento exterior con forma de placa delgada. La primera entrada de sonido está situada en el plano 23 de terminación de sonido en una posición adyacente al diafragma del micrófono, acoplando de este modo el primer volumen 22 de aire directamente al plano 23 de terminación de sonido. El primer volumen 22 de aire se extiende a través del plano 23 de terminación de sonido y posee una porción frontal situada enfrente del plano 23 de terminación de sonido y una porción trasera situada detrás del plano 23 de terminación de sonido. Un segundo volumen 24 de aire también está situado en el plano 23 de terminación de sonido está acoplado acústicamente al plano 23 de terminación de sonido a través de una segunda entrada de sonido y del segundo canal 24a de sonido formado por debajo de una segunda porción de una superficie 27b de alojamiento exterior con forma de placa delgada. La segunda entrada de sonido está acoplada acústicamente al plano 23 de terminación de sonido en una posición adyacente al diafragma del micrófono, aunque en un lado opuesto del mismo en relación a la primera entrada de sonido. Cada uno de los volúmenes 22 y 24 de aire primero y segundo, respectivamente, pueden tener un volumen comprendido en el intervalo entre 0,1 cm³ y 0,8 cm³.

Unos volúmenes 26, 28 o cavidades de aire tercera y cuarta, respectivamente, están acopladas directamente al plano 23 de terminación de sonido a través de canales de sonido respectivos que poseen entradas 26a, 28a de sonido respectivas dispuestas en el plano 23 de terminación de sonido. La tercera cavidad 26 está situada detrás del plano 23 de terminación de sonido y se extiende hacia un lado trasero del alojamiento 21 paralelamente con el micrófono 30 de medida. La tercera cavidad 26 esta acoplada al plano 23 de terminación de sonido a través de un canal de sonido con la entrada 26a de sonido en un extremo. La cuarta cavidad 28 está asimismo situada detrás del plano 23 de terminación de sonido y esta acoplada directamente al plano 23 de terminación de sonido a través de un canal de sonido con una entrada 28a de sonido en un extremo. La cuarta cavidad 28 también está situada detrás del plano 23 de terminación de sonido y se extiende hacia la parte trasera del alojamiento 21 paralelamente con el micrófono 30 de medida. El volumen de la tercera cavidad 26 está preferiblemente comprendida en el intervalo entre 0,4 cm³ y 2 cm³, mientras que el volumen de la cuarta cavidad 28 esta preferiblemente comprendida en el intervalo entre 0,05 cm³ y 0,5 cm³.

La FIG. 3 es un dibujo esquemático de un sistema de simulador de oído que comprende el simulador 20 de tímpano descrito en la FIG. 2, un simulador 32 de canal auditivo desmontable, conformado como un canal de sonido alargado, y un simulador 33 de pabellón auricular desmontable. El simulador 31 de canal auditivo desmontable comprende el canal de sonido alargado que se extiende entre un plano de entrada de sonido de canal y el plano de salida de sonido de canal en una superficie de terminación de canal. El simulador 31 de canal auditivo desmontable puede acoplarse acústicamente y mecánicamente al simulador 20 de tímpano a través de un medio de fijación mecánico apropiado situado en la superficie de terminación de canal y coincidente con el medio de fijación correspondiente del simulador de tímpano. El simulador 31 de canal auditivo desmontable está conformado y dimensionado para modelar un canal auditivo de un ser humano individual o bien un canal auditivo de un ser humano promedio, representando, por ejemplo, la población de sujetos adultos bajo estudio descrita anteriormente. El sistema 35 de simulador de oído comprende adicionalmente el pabellón auricular o simulador 33 de oreja desmontable que modela las características de impedancia acústica de un pabellón auricular humano promedio o bien las características de impedancia acústica de un pabellón auricular humano particular. El simulador 33 de pabellón auricular desmontable puede acoplarse acústicamente y mecánicamente al simulador 32 de canal auditivo desmontable a través del plano de entrada de sonido de canal previamente discutido (no mostrado) del simulador 20 de tímpano. Por lo tanto, el sistema de simulador de oído proporciona una herramienta muy versátil para modelar acústicamente de manera precisa tanto las propiedades acústicas de baja frecuencia como las de alta frecuencia de individuos específicos o para modelar propiedades acústicas promedio de baja y alta frecuencia de una población de seres humanos objetivo.

El simulador 20 de tímpano está además fijado al simulador 31 de canal auditivo desmontable con una orientación inclinada del plano de entrada de sonido (elemento 25 de la FIG. 1), cuya orientación inclinada tal como se explicó anteriormente imita la orientación entre el tímpano y el canal auditivo típica en seres humanos. De manera más específica, el plano de entrada de sonido de simulador 20 de tímpano está orientado en dirección paralela al plano 34 de intersección representado, que es sustancialmente coincidente con el plano de salida de sonido de canal del

simulador 31 de canal auditivo. La superficie de terminación de canal en el plano 34 de intersección está inclinada un ángulo de aproximadamente 45 grados en relación a un plano 36 de sección transversal a través del canal 31 de sonido alargado en la superficie de terminación de canal, tal como se ilustra. El ángulo de inclinación puede variar dependiendo de los detalles de construcción específicos del simulador 20 de tímpano y del simulador 31 de canal auditivo desmontable, pero se selecciona preferiblemente con un valor comprendido en el intervalo entre 10 grados y 80 grados, tal como entre 30 grados y 60 grados.

La gráfica 401 superior de la FIG. 4A) muestra una magnitud medida de la impedancia acústica de entrada en función de la frecuencia del simulador de oído o acoplador estandarizado de tipo (IEC) 711 en el plano de referencia. La gráfica 403 inferior muestra una magnitud calculada correspondiente de la impedancia acústica de "tímpano" correspondiente del simulador de oído de tipo IEC 711.

La gráfica 501 de la FIG. 5A) muestra una magnitud 502 de impedancia de entrada de oído típico medida experimentalmente en función de la frecuencia en el plano de referencia (elemento 5 de la FIG. 1) para uno solo de los 25 sujetos o individuos adultos bajo estudio. La gráfica 503 de la FIG. 5B) muestra la magnitud de la impedancia 504 de tímpano promedio tal como se calcula utilizando la metodología del Método de los Elementos Finitos anteriormente mencionada a partir de las magnitudes de impedancia de entrada de oído promedio medidas.

Los cálculos de impedancia de tímpano promedio proporcionaron los siguientes valores de mediana (promedio) de la magnitud de la impedancia:

$3,53 \cdot 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 50 Hz;

$1,08 \cdot 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 200 Hz;

$3,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 1 kHz;

$4,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 3 kHz;

$9,12 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 6 kHz

$7,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 8 kHz

$6,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$ a 10 kHz.

La Tabla 1 más abajo ofrece un listado de los valores de impedancia de entrada de oído promedio medidas experimentalmente, e incluye los valores de la magnitud inferior y superior de los valores de impedancia de entrada en el seno de un intervalo de confianza del 95%:

Frecuencia (Hz)	Límite inferior de la magnitud ($\text{Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$)	Límite superior de la magnitud ($\text{Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3$)
50	$25 \cdot 10^7$	$51 \cdot 10^7$
200	$76 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^7$
10.000	$24 \cdot 10^6$	$48 \cdot 10^6$
3.000	$28 \cdot 10^6$	$72 \cdot 10^6$
6.000	$52 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^7$
8.000	$41 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^7$
10.000	$28 \cdot 10^6$	$14 \cdot 10^7$

Tabla 1

La FIG. 6A) es una gráfica 601 que compara los valores de magnitud de la impedancia de tímpano promedio calculados discutidos previamente representados en la curva 504 con la curva 602 de impedancia de tímpano calculada del acoplador IEC 711. Resulta evidente que el simulador de oído de tipo 711 no modela o representa de forma precisa la impedancia de tímpano promedio de la población de seres humanos adultos bajo estudio. A lo largo del intervalo de bajas frecuencias desde aproximadamente 50 Hz hasta aproximadamente 1.000 Hz, la magnitud de la impedancia de tímpano es globalmente demasiado alta y, contrariamente, es demasiado baja en un intervalo de frecuencias desde aproximadamente 2 kHz hasta aproximadamente 8 kHz.

La FIG. 6B) muestra una gráfica que compara curvas del límite 605 de impedancia superior y del límite 607 de

impedancia inferior de la impedancia de tímpano promedio de canales auditivos humanos medida experimentalmente en comparación con la impedancia 602 de tímpano calculada del acoplador IEC 711. Resulta evidente que la magnitud de la impedancia de tímpano del simulador de oído de tipo 711 incluso se sale de estos límites de impedancia superior e inferior en varias bandas de frecuencia entre 50 Hz y 10 kHz.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un simulador (20) de oído que representa una impedancia acústica de tímpano promedio correspondiente a una población de seres humanos, que comprende:
 - un plano (25) de entrada de sonido,
- 5
 - un plano (23) de terminación de sonido para disponer un diafragma de un micrófono de medida,
 - una cavidad frontal de un volumen predeterminado que se extiende entre el plano (25) de entrada de sonido y el plano (23) de terminación de sonido,
 - una pluralidad de cavidades (22, 24, 26, 28) de aire acopladas acústicamente al plano (23) de terminación de sonido a través de canales (22a, 24a, 26a, 28a) de sonido respectivos, caracterizado por que:
- 10
 - al menos una cavidad de aire de la pluralidad de cavidades de aire está situada detrás del plano (23) de terminación de sonido.
- 2.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 1, en donde el volumen predeterminado de la cavidad frontal es menor de 200 mm^3 , tal como entre 2 mm^3 y 200 mm^3 , más preferiblemente entre 5 mm^3 y 50 mm^3 .
- 3.- Un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende:
- 15
 - una primera cavidad (22) de aire situada detrás del plano (23) de terminación de sonido, en donde dicha primera cavidad (22) de aire posee un primer canal (22a) de sonido con una primera entrada de sonido situado en o sobre el plano (23) de terminación de sonido;
 - una segunda cavidad (24) de aire con un segundo canal (24a) de sonido que comprende una segunda entrada de sonido dispuesta en o sobre el plano (23) de terminación de sonido.
- 20
 - 4.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 3, en donde la segunda cavidad (22) de aire está situada detrás del plano (23) de terminación de sonido.
 - 5.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 3 o 4, en donde un volumen de la primera cavidad (23) de aire está comprendido en el intervalo entre $0,4 \text{ cm}^3$ y 2 cm^3 , tal como aproximadamente $0,8 \text{ cm}^3$.
 - 6.- Un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, que comprende:
- 25
 - una tercera cavidad (26) de aire con un tercer canal (26a) de sonido que posee una tercera entrada de sonido situada en o sobre el plano (23) de terminación de sonido, o situada en la cavidad frontal.
- 7.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 6, y comprende:
 - una cuarta cavidad (28) de aire con un cuarto canal (28a) de sonido que posee una cuarta entrada de sonido situada en o sobre el plano (23) de terminación de sonido, o situada en la cavidad frontal.
- 30
 - 8.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 6, en donde cada una de las cavidades (22, 26) de aire segunda y tercera posee un volumen comprendido en el intervalo entre 50 mm^3 y 1.000 mm^3 , tal como aproximadamente 300 mm^3 .
 - 9.- Un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde al menos una cavidad de entre las cavidades tercera y cuarta de aire está situada detrás del plano (23) de terminación de sonido.
- 35
 - 10.- Un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, configurado para proporcionar una magnitud de impedancia de entrada, en el plano (25) de entrada de sonido, de los siguientes valores:
 - $1,08 \cdot 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 3 \text{ dB}$ a 200 Hz;
 - $3,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 3 \text{ dB}$ a 1 kHz;
 - 40 $4,44 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 4 \text{ dB}$ a 3 kHz;
 - $9,12 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 5 \text{ dB}$ a 6 kHz
 - $7,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 5 \text{ dB}$ a 8 kHz
 - $6,41 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} / \text{m}^3 \pm 10 \text{ dB} / \pm 5 \text{ dB}$ a 10 kHz.
 - 11.- Un simulador (20) de oído según la reivindicación 8, configurado para proporcionar una magnitud de impedancia

de entrada, en el plano (25) de entrada de sonido, de los siguientes valores:

1,08*10⁸ Pa*s/m³ +/- 2 dB a 200 Hz;

3,44*10⁷ Pa*s/m³ +/- 2 dB a 1 kHz;

4,44*10⁷ Pa*s/m +/- 3 dB a 3 kHz;

5 9,12*10⁷ Pa*s/m³ +/- 4 dB a 6 kHz

7,41*10⁷ Pa*s/m³ +/- 4 dB a 8 kHz

6,41*10⁷ Pa*s/m³ +6 dB / -4 dB a 10 kHz.

10 12.- Un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el plano (25) de entrada de sonido posee un área de sección transversal comprendida en el intervalo entre 50 mm² y 200 mm², tal como aproximadamente 80 mm².

13.- Un sistema (35) de simulador de oído que representa una impedancia acústica de un canal auditivo humano o un promedio de múltiples canales auditivos humanos, que comprende:

- un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 precedentes,

15 - un simulador (32) de canal auditivo desmontable que puede conectarse acústicamente y mecánicamente al simulador de oído a través de una superficie de terminación de canal en un plano (34) de intersección entre el simulador (20) de oído y el simulador (32) de canal auditivo,

- el simulador (32) de canal auditivo desmontable que comprende un canal de sonido alargado que se extiende entre un plano de entrada de sonido de canal y el plano de salida de sonido de canal.

20 14.- Un sistema (35) de simulador de oído según la reivindicación 13, en donde una impedancia acústica de entrada del simulador (32) de canal auditivo desmontable representa una impedancia acústica de entrada promedio de canales auditivos de una población de seres humanos.

15.- Un sistema (35) de simulador de oído según la reivindicación 13, en donde una impedancia acústica de entrada del simulador (32) de canal auditivo desmontable representa una impedancia acústica de entrada de un canal auditivo de un único oído humano.

25 16.- Un sistema (35) de simulador de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, en donde la superficie de terminación de canal del simulador (32) de canal auditivo desmontable en el plano (34) de intersección está inclinada un ángulo comprendido en el intervalo entre 10 grados y 80 grados, tal como entre 30 grados y 60 grados, en relación a un plano de sección transversal a través del canal (31) de sonido alargado en la superficie de terminación de canal.

30 17.- Un sistema (35) de simulador de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, que comprende adicionalmente un simulador (33) de pabellón auricular u oreja desmontable que puede conectarse a una superficie de entrada en el plano de entrada de canal del simulador (32) de canal auditivo desmontable, en donde

35 - el simulador de pabellón auricular u oreja desmontable modela características de impedancia acústica de un pabellón auricular humano promedio o características de impedancia acústica de un pabellón auricular humano particular.

18.- Un simulador (32) de canal auditivo desmontable que comprende:

- un canal (31) de sonido alargado que se extiende entre un plano de entrada de sonido y un plano de salida de sonido y que posee un eje longitudinal central que se extiende a su través;

40 - un medio de fijación mecánica situado en una superficie de terminación de canal en el plano de salida de sonido coincidente con el medio de fijación correspondiente de un simulador (20) de oído según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

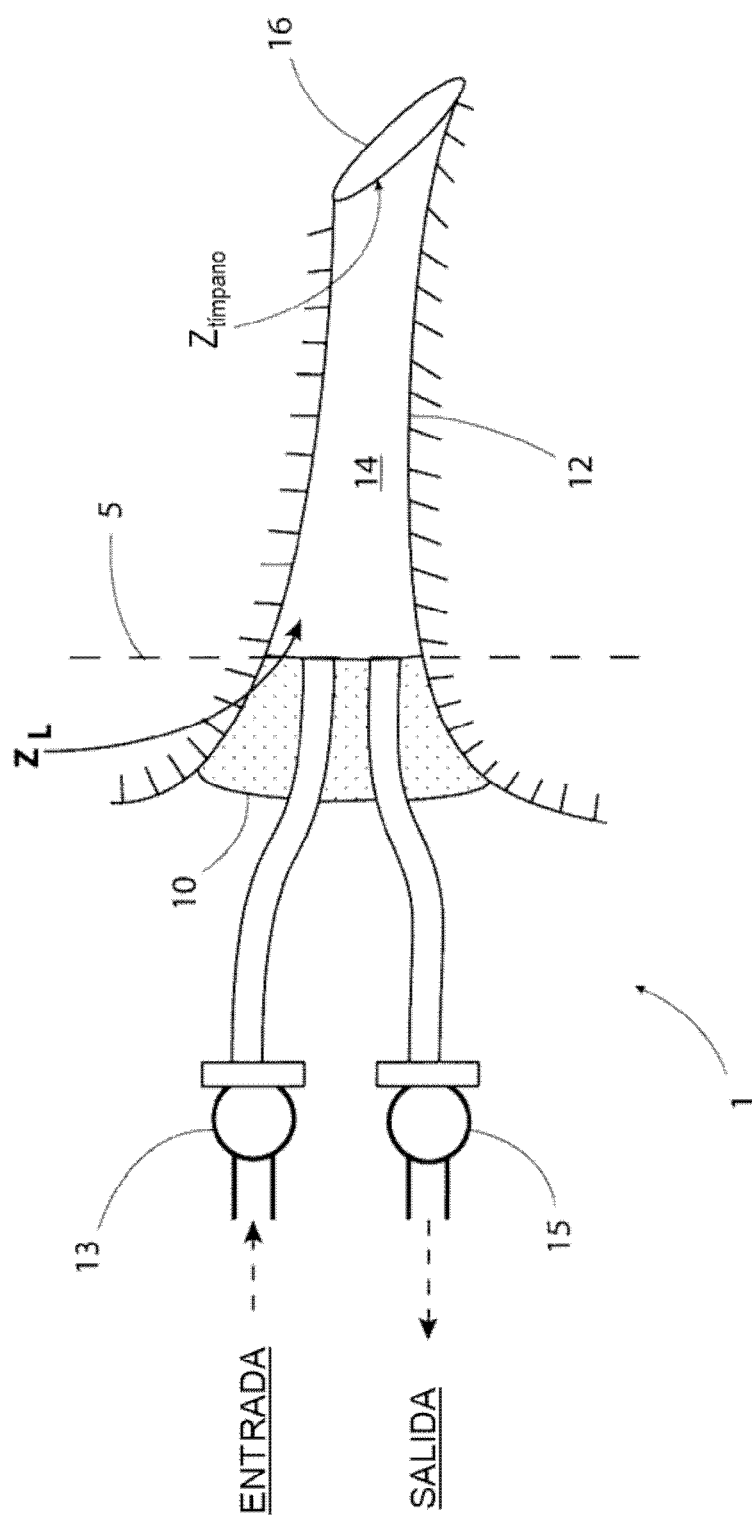


FIG. 1

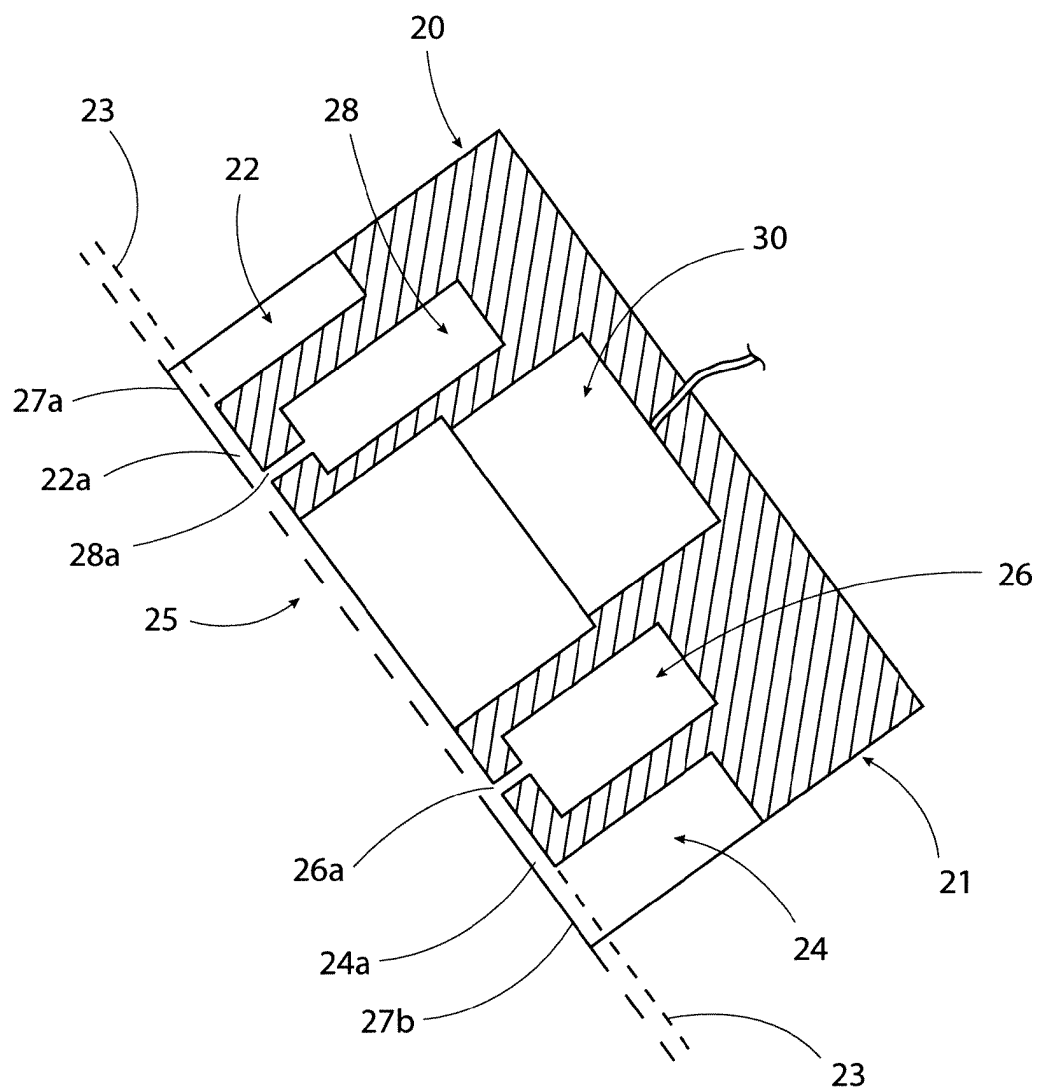


FIG. 2

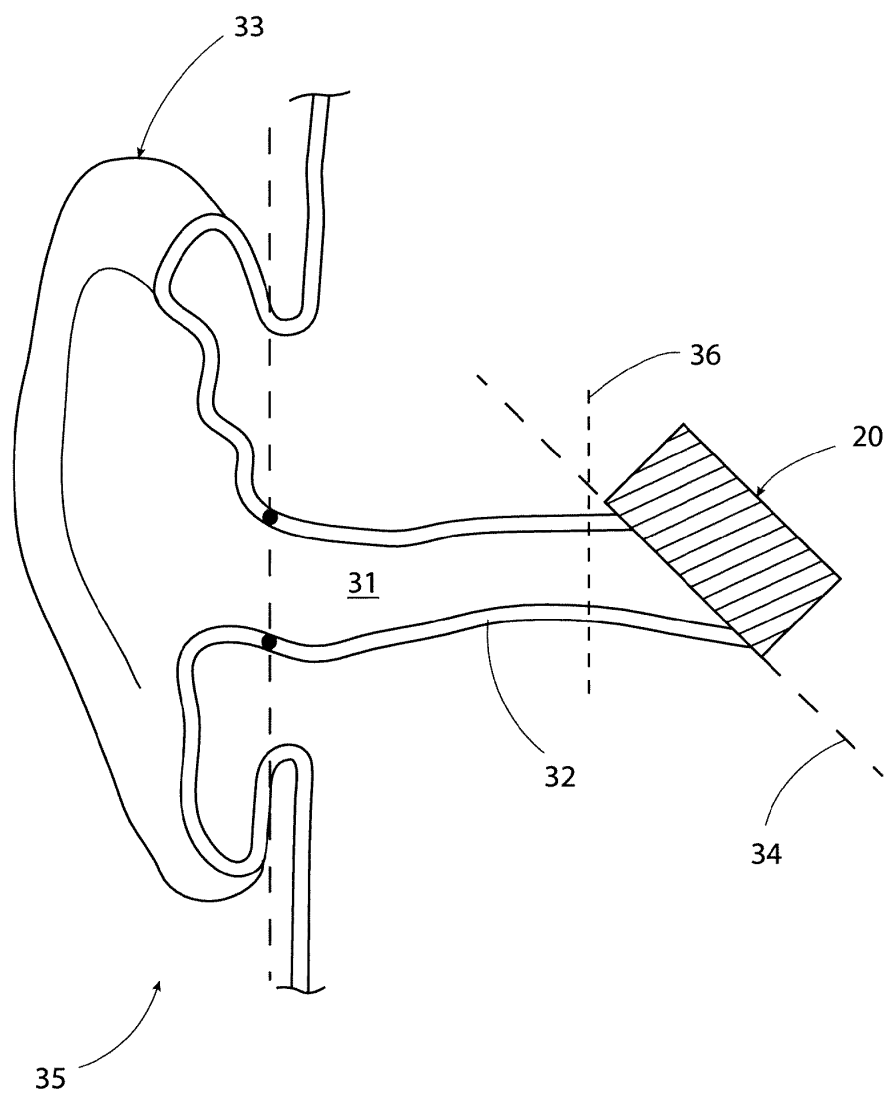
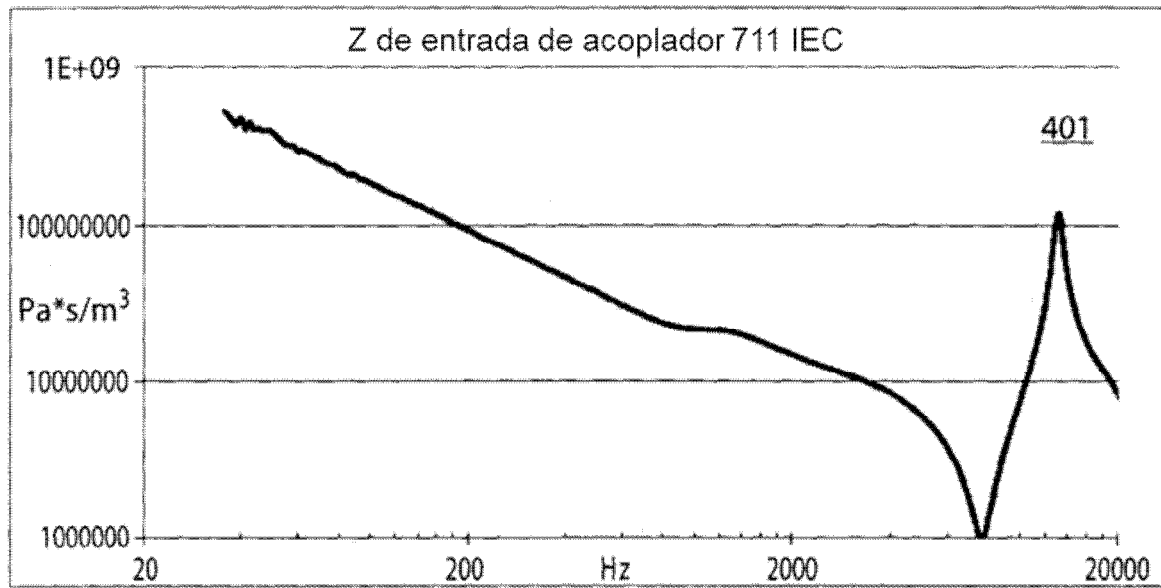
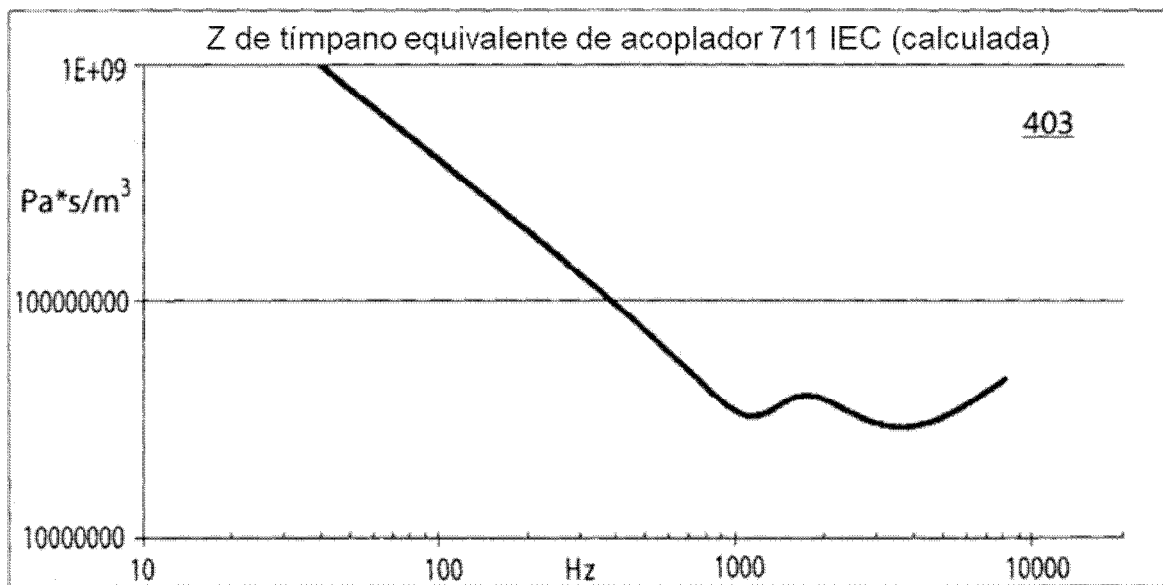


FIG. 3

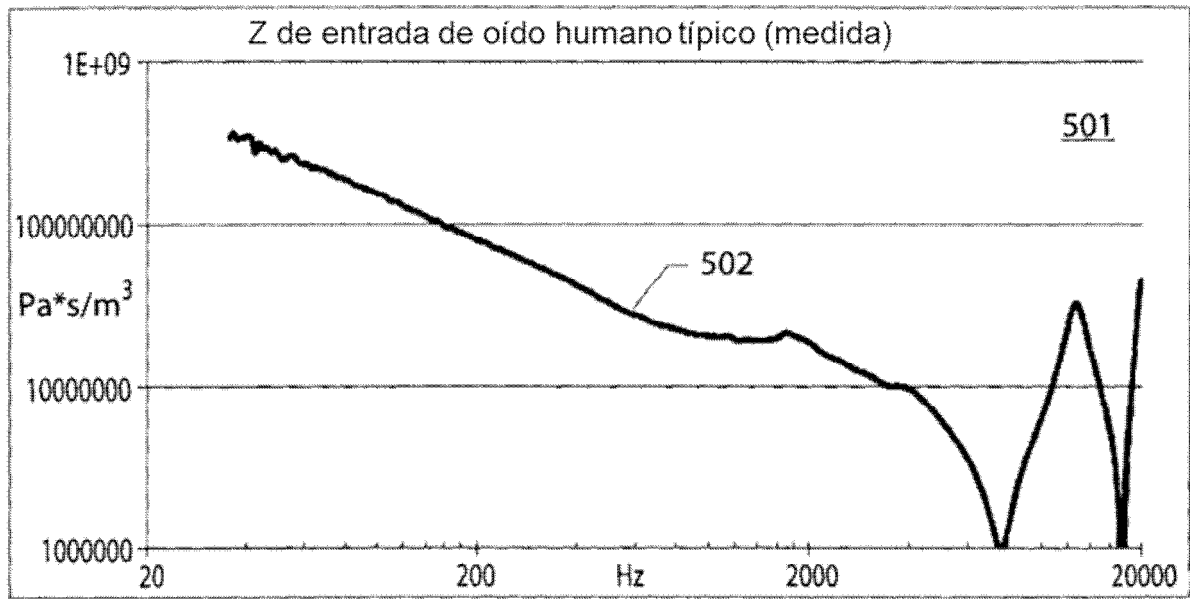


A)

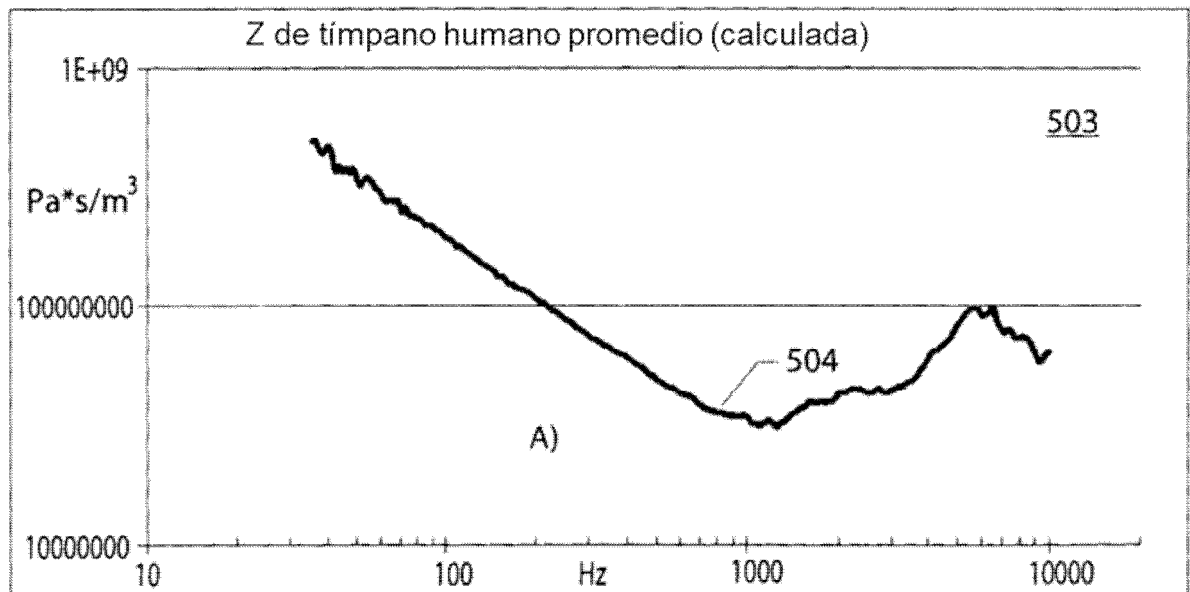


B)

FIG. 4

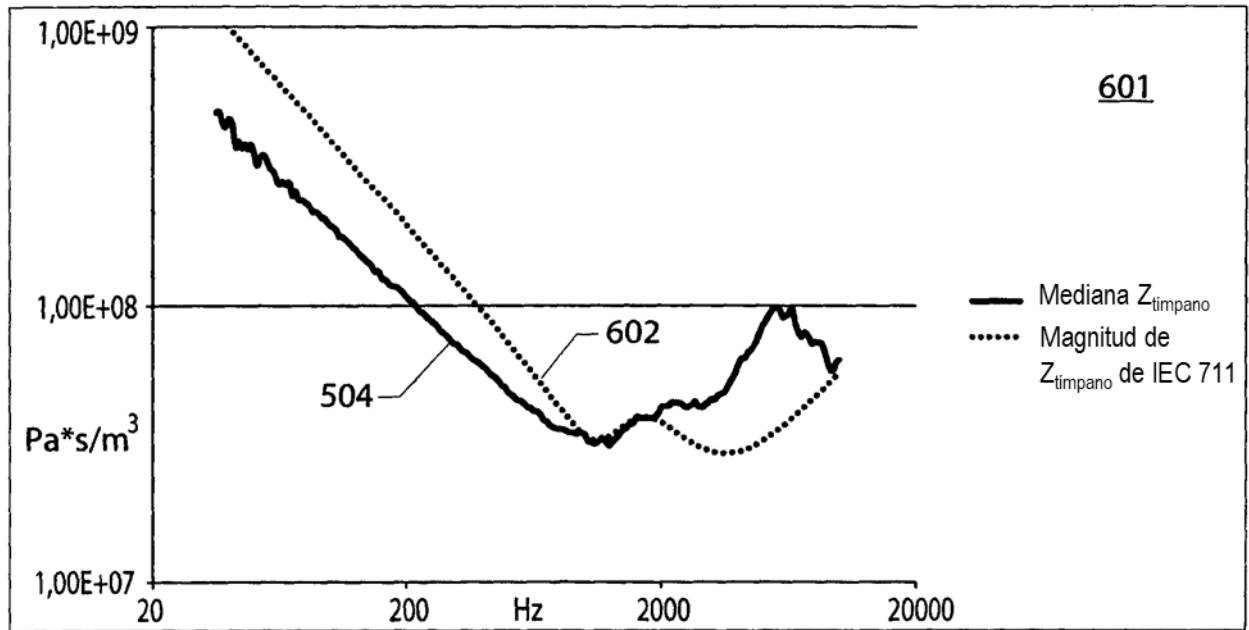


A)

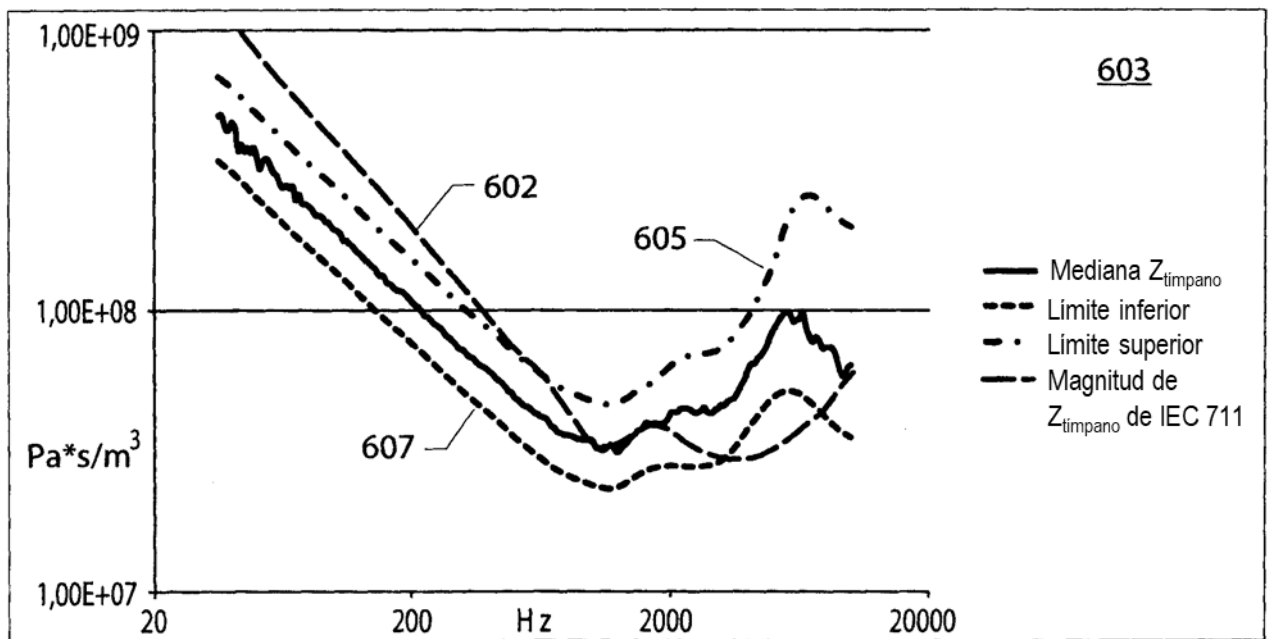


B)

FIG. 5



A)



B)

FIG. 6